

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. М. Ткаченко, С. В. Хрущак

**УЩІЛЬНЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МОВЛЕННЄВОГО СИГНАЛУ
НА ОСНОВІ ВЕКТОРНОГО КВАНТУВАННЯ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2013

УДК 004.934 + 004.627

ББК 32.973.202

Т 48

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 8 від 25.06.2013 р.)

Рецензенти:

В. М. Лисогор, доктор технічних наук, професор

С. І. Перевозніков, доктор технічних наук, професор

Ткаченко О. М.

Т 48 Векторне квантування параметрів сигналу при ущільненні мовлення в комп'ютерних системах : монографія / О. М. Ткаченко, С. В. Хрущак. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 125 с.

У монографії розглянуто питання ущільнення мовленнєвих сигналів на основі векторного квантування параметрів сигналу. Вдосконалено методи ущільнення параметрів сигналу за рахунок структуризації кодових книг, дельта-ущільнення. Розроблено методику та програмні засоби для дослідження запропонованих методів ущільнення. Книга розрахована на науковців, аспірантів та інженерів, які займаються розробкою комп'ютерних систем ущільнення, передавання та зберігання мовленнєвих сигналів.

УДК 004.934 + 004.627

© О. Ткаченко, С. Хрущак, 2013

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ УЩІЛЬНЕННЯ МОВЛЕННЄВИХ СИГНАЛІВ.....	7
1.1 Аналіз комп'ютерних систем ущільнення мовленнєвих сигналів.....	7
1.2 Ущільнення із кодуванням форми сигналу.....	9
1.3 Параметричні методи ущільнення мовленнєвих сигналів.....	13
1.3.1 Аналіз методу лінійного прогнозування.....	13
1.3.2 Інші форми подання коефіцієнтів лінійного прогнозування.....	17
1.3.3 Застосування кодових книг для підвищення ступеня ущільнення.....	18
1.3.4 Векторне квантування параметрів мовленнєвого сигналу...	20
1.3.5 Багатоетапне векторне квантування.....	23
1.4 Базова структура комп'ютерної системи передавання мовленнєвих сигналів.....	25
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДЛЯ ПОБУДОВИ ЗАСОБІВ ВЕКТОРНОГО КВАНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МОВЛЕННЄВИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ МАЖОРУВАННЯ ВЕКТОРІВ.....	29
2.1 Оцінювання відстаней між векторами.....	29
2.2 Структуризація векторних кодових книг.....	33
2.2.1 Структуризація векторних кодових книг на основі відношення мажорювання.....	33
2.2.2 Мажорювання векторів відстаней.....	36
2.3 Прискорений пошук у структурованій кодовій книзі.....	38
2.4 Метод дельта-ущільнення параметрів мовленнєвого сигналу.....	41
2.4.1 Дельта-ущільнення з використанням алгоритму Вітербі.....	41
2.4.2 Метод дельта-ущільнення з прогнозуванням.....	50
РОЗДІЛ 3 СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА ОРГАНІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБЛЕННЯ МОВЛЕННЄВИХ СИГНАЛІВ НА БАЗІ ВПОРЯДКОВАНИХ КОДОВИХ КНИГ.....	54
3.1 Загальні вимоги до комп'ютерної системи передавання та зберігання мовленнєвих сигналів.....	54
3.2 Архітектура комп'ютерної системи передавання мовленнєвих сигналів на базі кодових книг.....	56

3.3 Особливості побудови підсистеми визначення голосової активності.....	64
3.4 Методика створення мовленнєвого пакета.....	69
3.5 Особливості побудови підсистеми зберігання мовленнєвих даних.....	72
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ УЩІЛЬНЕННЯ МОВЛЕННЄВИХ СИГНАЛІВ.....	77
4.1 Програмні засоби для дослідження методів прискореного пошуку векторів у кодовій книзі.....	77
4.2 Умови тестування розроблених методів.....	80
4.3 Експериментальні дослідження запропонованих методів ущільнення мовленнєвих сигналів у комп'ютерних системах.....	81
4.3.1 Експериментальні дослідження запропонованої міри та різних видів розбиття кодової книги.....	81
4.3.2 Експериментальні дослідження прискореного пошуку векторів в кодовій книзі.....	83
4.3.3 Експериментальні дослідження методу дельта-ущільнення мовленнєвих сигналів.....	85
4.3.4 Дослідження методів побудови екстраполюючої функції...	88
4.3.5 Дослідження методу визначення голосової активності.....	90
4.4 Реалізації вокодера з використанням дельта-ущільнення для передачі та зберігання мовленнєвих сигналів у комп'ютерних системах.....	92
4.5 Оцінювання розбірливості синтезованого мовленнєвого сигналу.....	97
ВИСНОВКИ.....	100
ЛІТЕРАТУРА.....	102
Додаток А Лістинг програми для дослідження методів ущільнення мовленнєвих сигналів на основі векторного квантування.....	110

ВСТУП

Актуальним напрямком розвитку сучасних комп'ютерних систем є оброблення, зберігання та передавання мультимедійної інформації, зокрема мовленнєвих сигналів. При цьому одним з найбільш важливих питань є обсяг даних, необхідних для забезпечення якісного відтворення мовленнєвого сигналу. Ущільнення мовленнєвого сигналу зменшує обсяг даних, необхідних для його опису та відповідно апаратні витрати на його зберігання та передавання. Це дозволяє збільшувати кількість користувачів мовленнєвих сервісів мережі без збільшення апаратних витрат. Створення кодерів з високим ступенем ущільнення дозволить використовувати їх у побудові систем голосових повідомлень, автоматичних мовленнєвих довідкових служб, систем передавання мовленнєвих сигналів по низькошвидкісних комп'ютерних мережах, недорогих систем безпроводного зв'язку. Тому світовий ринок мультимедійних систем розвивається під безпосереднім технологічним впливом вчених та розробників мовленнєвих кодеків.

Слід відзначити, що основні зусилля в розробці методів і систем оброблення, передавання та зберігання цифрових мовленнєвих сигналів належать високорозвиненим країнам – США, Японії, Франції та Великобританії. Кінцеві результати досліджень формуються у вигляді національних стандартів і рекомендацій міжнародних організацій, таких як, ITU-T і групи MPEG. Значний внесок у розвиток систем ущільнення мовлення внесли Л. Р. Рабінер, Б. С. Атал, К. К. Палівал, Ф. Ітакура, Ж. Джін, Дж. Макхоул, Т. К. Вінцюк.

Проте дослідження у цьому напрямку не втрачають своєї актуальності, оскільки залишилось чимало нерозв'язаних задач. Відсутні методи ущільнення мовленнєвих сигналів, які враховували б кореляцію між кадрами мовленнєвого сигналу, а також методи, які б використовували впорядковані кодові книги в процесі векторного квантування параметрів мовленнєвого сигналу. Таким чином актуальною є науково-технічна задача розробки програмно-апаратних засобів ущільнення даних, необхідних для подальшого передавання або відтворення мовленнєвого сигналу без втрати прийнятної якості декодованого звуку.

Метою монографії є підвищення продуктивності оброблення мовленнєвих сигналів в комп'ютерній системі за рахунок розробки

програмно-апаратних засобів ущільнення даних, необхідних для подальшого передавання, зберігання та відтворення мовленнєвого сигналу без втрати прийнятної якості декодованого мовлення. Застосування розроблених програмних засобів дозволило зменшити кількість мовленнєвої інформації, необхідної для подальшої передачі або відтворення у комп'ютерній системі при збереженні прийнятної якості вихідного мовленнєвого сигналу.

Автори будуть вдячні за відгуки на монографію та пропозиції щодо розвитку подальших досліджень.

ВИСНОВКИ

У роботі, що описана в монографії, розв'язано важливу науково-практичну задачу, пов'язану зі зменшенням обсягів даних, необхідних для представлення спектральної інформації сигналу в системах передавання мови у комп'ютерних мережах. Розроблено методи та інструментальні засоби для дослідження різних методів прискореного пошуку векторів у кодовій книзі.

1. Проведено аналіз та класифікацію існуючих методів ущільнення мови, які дозволили виявити основні тенденції їх розвитку. За основу подальших досліджень вибрано методи параметричного ущільнення мови з векторним квантуванням LSP та урахуванням міжфреймової кореляції параметрів сигналу.

2. Вперше запропоновано метод дельта-ущільнення з прогнозуванням параметрів, суть якого полягає у передачі різниці між індексами поточного та попереднього векторів у структурованій кодовій книзі, що дозволило зменшити кількість бітів, необхідних для кодування спектральної інформації, з 24 до 22 без суттєвого збільшення спектрального спотворення.

3. Удосконалено метод пошуку найближчого вектора в кодовій книзі, який, на відміну від існуючих методів, базується на попередньому впорядкуванні векторів за принципом мажорювання, що дозволило скоротити час пошуку в 5,8 рази.

4. Дістав подальший розвиток адаптивний метод визначення голосової активності, у якому, на відміну від існуючих, використовується геометричний адаптивний поріг та згладжування спектральної обвідної, що дозволило зменшити загальну кількість помилок на 15 % та підвищити швидкодію методу на 12,5 %.

5. Розроблено методику та програмні засоби для дослідження методів ущільнення мовленнєвих сигналів з використанням векторного квантування, а також алгоритмічне та програмне забезпечення для ущільнення мовленнєвих сигналів для їх зберігання та передавання в комп'ютерних системах.

6. Застосування запропонованих методів під час кодування мовленнєвих сигналів дозволяє додатково зменшити обсяги мовленнєвих даних у 1,6 рази. Це дозволяє підвищити швидкість оброблен-

ня мовленнєвих даних у комп'ютерних системах, призначених для роботи з мультимедійною інформацією.

ЛІТЕРАТУРА

1. Игнатов В. А. Теория информации и передачи сигналов / В. А. Игнатов. – М. : Советское радио, 1979. – 280 с.
2. Куприянов М. С. Цифровая обработка сигналов / М. С. Куприянов, Б. А. Матюшкин. – С-Пб. : Питер, 1998. – 416 с.
3. Прокис Дж. Цифровая связь / Дж. Прокис. – М. : Радио и связь. – 2000. – 800 с.
4. Kleijn W. B. Wideband Speech Coding. Speech Coding and Synthesis / W. B. Kleijn, K. K. Paliwal. – The Netherlands : Elsevier Science, 1995. – P. 289–310.
5. Ворсано Д. Н. Кодирование речи в цифровой телефонии / Д. Н. Ворсано // Сети и системы связи. – 1996. – № 8. – С. 24–27.
6. Быховский М. А. Пионеры информационного века. История развития теории связи. / М. А. Быховский. – М. : Техносфера, 2006. – 376 с.
7. Рабинер Л. Р. Цифровая обработка речевых сигналов / Л. Р. Рабинер, Р. В. Шафер. – М. : Радио и связь, 1981. – 496 с.
8. Chu W. C. Speech Coding Algorithms – Foundation and Evolution of Standardized Coders / W. C. Chu. – New Jersey : Wiley, 2003. – 553 p.
9. Ткаченко О. М. Вокодер LSF зі швидкістю 1600 біт/с / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // Вісник вінницького політехнічного інституту. – 2006. – № 1. – С. 78–86.
10. Сапожков М. А. Вокодерная связь / М. А. Сапожков, В. Г. Михайлов. – М. : Радио и связь, 1983. – 248 с.
11. Вокодерная телефония. Методы и проблемы / ред. А. А. Пирогова. – М. : Связь, 1974. – 246 с.
12. Gray A. H. Quantization and bit allocation in speech processing / A. H. Gray, J. D. Markel // IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing. – 1986. – V. ASSP-24. – P. 459–473.
13. Ткаченко О. М. Адаптивне визначення голосової активності при дельта-ущільненні мовленнєвих сигналів / О. М. Ткаченко, Л. В. Крупельницький, С. В. Хрущак // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2011. – № 3. – Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vntu/2011_3/2011-3.files/uk/11omtoss_ua.pdf.

14. Itakura F. Line spectrum representation of linear predictive coefficients of speech signals / F. Itakura // *Acoust. Soc. Amer.* – 1985. – V. 57. – P. 535.

15. Viswanathan R. Quantization properties of transmission parameters in linear predictive systems / R. Viswanathan, J. Makhoul. // *Speech, Signal processing. IEEE Trans. Acoust.* – 1985. – V. ASSP-23. – P. 309–323.

16. Kang G. S. Application of line-spectrum pairs to low-bit-rate speech encoders / G. S. Kang and L. J. Fransen // *Speech, Signal Processing: proc. IEEE Int. Conf. Acoust.* – FL : Tampa, 1985. – P. 244–247.

17. Иванов В. Н. Вычисление линейных спектральных частот / В. Н. Иванов // *Электросвязь.* – 1997. – № 6. – С. 25–27.

18. Soong F. K. Line spectrum pair (LSP) and speech data compression / F. K. Soong and B. H. Juang // *Acoust. Speech. Sig. Processing: proc. IEEE Int. Conf.* – CA : San Diego, 1987. – P. 1.10.1–1.10.4.

19. Palival K. Efficient Vector Quantization of LPC Parameters at 24 Bits/Frame / K. Palival, S. Atal // *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing.* – 1993. – V. 1, № 2. – P. 3–14.

20. Soong F. K. Optimal quantization of LSP parameters / F. K. Soong and B. H. Juang // *Speech Signal Processing: proc. IEEE Inf. Conf. Acoust.* – FL : Tampa, 1988. – P. 394–397.

21. Lahouti F. Single and Double Frame Coding of Speech LPC Parameters Using a Lattice-based Quantization Scheme / F. Lahouti, A. R. Fazel, A. H. Safavi-Naeini // *Department of Electrical and Computer Engineering: technical report.* – 2004. – 22 p.

22. Shoham Y. Cascaded likelihood vector coding of the LPC information / Y. Shoham // *Speech, Signal Processing: proc. IEEE Int. Conf. Acoustr.* – Scotland : Glasgow, 1989. – P. 160–163.

23. Ткаченко О. М. Дослідження моделі вокодера на основі векторного квантування / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // *Автоматика 2006 : матеріали XIII міжнародної конференції з автоматичного управління* – Вінниця : ВНТУ, 2007. – С. 487–491.

24. Ткаченко О. М. Модель вокодера на основі LSP / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // *Контроль і управління в*

складних системах (КУСС-2005) : тези доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – С. 265.

25. Makhoul J. Vector quantization in speech coding / J. Makhoul, S. Houcos, H. Gish // Proc. IEEE. – 1985. – № 73. – P. 1551–1558.

26. Paliwal K. K. Quantization of LPC parameters in Speech Coding and Synthesis / K. K. Paliwal, W. B. Kleijn. – Amsterdam : Elsevier, 1995. – P. 443–466.

27. Soong F. Line spectrum pair (LSP) and speech data compression / F. Soong, B. Juang // Signal Processing: proc. Acoustic Speech. – San Diego, 1984. – P. 1.10.1–1.10.4.

28. Soong F. Optimal quantization of lsp parameters / F. Soong, B. Juang // Speech, Signal Processing: proc. Conf. Acoustic. – New York, 1988. – P. 394–397.

29. Paliwal K. K. Efficient Vector Quantization of Line Spectral Frequencies Using the Switched Split Vector Quantiser / K. K. Paliwal, S. Stephen // School of Microelectronic Engineering: technical report. – 2004. – 4 p.

30. Ткаченко О. М. Вокодер LSF на основі векторного квантування / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // XIII Міжнародна науково-технічна конференція з автоматичного управління (Автоматика–2006) : тези доповідей – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – С. 442.

31. Ткаченко О. М. Ефективне векторне квантування LSF-параметрів при ущільненні мовних сигналів / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2007. – № 1. – С. 124–129.

32. Ткаченко О. М. Ущільнення мовних сигналів із застосуванням векторного квантування в системах цифрового зв'язку / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації : тези доповідей I Міжнародної науково-практичної конференції. – Вінниця : ВНТУ, 2007. – С. 108–109.

33. LSF-вокодер на основі векторного квантування / Н. О. Біліченко, О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2007. – № 1. – С. 35–41.

34. Гольдштейн Б. С. IP-телефония / Б. С. Гольдштейн, А. В. Пинчук, А. Л. Суховицкий. – М. : Радио и связь, 2006. – 336 с.
35. Росляков А. В. IP-телефония / А. В. Росляков, М. Ю. Самсонов, И. В. Шibaева. – М. : Радио и связь, 2003. – 115 с.
36. Гольдштейн Б. С. Протокол SIP : справочник. / Б. С. Гольдштейн, А. А. Зарубин, В. В. Саморезов. – СПб. : Питер, 2005. – 275 с.
37. Соколов О. В. Организация и возможности сетей IP-телефонии / О. В. Соколов, Н. В. Слободской. // Voip-Exchange. – 2006. – № 7. – С. 54–67.
38. Платов М. Что важно знать об IP-телефонии / М. Платов // Системный администратор. – 2005. – № 5. – С. 12–16.
39. Гольдштейн Б. С. Протокол SIP: учебное пособие / Б. С. Гольдштейн, В. Ю. Гойхман, Д. Н. Онучина. – СПб. : ГОУВПО СПбГУТ, 2008. – 75 с.
40. Гольдштейн Б. С. Сети NGN. Оборудование IMS: учебное пособие / Б. С. Гольдштейн, В. Ю. Гойхман, Ю. В. Столповская. – СПб. : ГОУВПО СПбГУТ, 2010. – 57 с.
41. Harte L. IPTV testing: Service quality monitoring, analyzing, and diagnostics for IP television systems and services / L. Harte // West Vance Street Fuquay Varina. – 2008. – № 27. – P. 65–67.
42. Olsson U. Towards the all-IP vision / U. Olsson // Ericsson Review. – 2005. – № 1. – P. 82–85.
43. Darling P. Telstra's Next Generation Network / P. Darling // Telecommunications Journal of Australia. – 2006. – № 1. – P. 56–78.
44. Ткаченко О. М. Розробка кодових книг для вокодера на основі LSP / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2005. – № 2. – С. 219–223.
45. Tkachenko A. N. Codebooks research for Ukrainian speech compression / A. N. Tkachenko, O. D. Feferman, S. V. Hruschak // Інтернет-Освіта-Наука-2006 : збірник матеріалів V Міжнародної конференції ІОН-2006. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – Т. 2. – С. 689–691.
46. Маршалл А. Неравенства: теория мажоризации и ее приложения / А. Маршалл, И. Олкин. – М. : Мир, 1983. – 576 с.

47. Ткаченко А. Н. Сжатие речевых сигналов с применением теории мажоризации / А. Н. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // Инфокоммуникационные технологии в науке, производстве и образовании : материалы конференции. – Ставрополь : СевКавГТУ, 2008. – С. 167–169.

48. Швидкий пошук при векторному квантуванні лінійних спектральних частот / Н. О. Біліченко, О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2008. – С. 37–47.

49. Ткаченко О. М. Ефективний пошук векторів у кодовій книзі / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // Проблеми інформатизації та управління. – 2007. – № 22. – С. 121–127.

50. Метод прискореного пошуку векторів у кодовій книзі / О. Д. Азаров, О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // Современные информационные и электронные технологии : труды VIII международной научно-практической конференции. – Одесса : ОНПУ, 2007. – С. 28.

51. Ущільнення мови із застосуванням структурованих кодових книг / О. Д. Азаров, О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // Современные информационные и электронные технологии : труды девятой международной научно-практической конференции – Одесса : ОНПУ, 2008. – С. 28.

52. Ткаченко О. М. Effective codebook vector search / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // Інтернет–освіта–наука-2008 : збірник матеріалів VI міжнародної конференції. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – Т. 2. – С. 298.

53. Ткаченко О. М. Підвищення ефективності пошуку векторів у кодовій книзі / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів : праці IX Всеукр. міжнар. конф. – К., 2008. – С. 193–195.

54. Ефективний пошук векторів у кодовій книзі в процесі ущільнення мовних сигналів / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак, Д. В. Монастирський // Контроль і управління в складних системах : матеріали IX Міжнародної конференції. – Вінниця, 2008. – С. 20.

55. Ткаченко О. М. Дельта-ущільнення мовленнєвих сигналів з прогнозуванням індексів кодової книги / О. М. Ткаченко,

О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 1. – С. 85–88.

56. Коваленко И. Н. Теория вероятностей и математическая статистика : учебное пособие / И. Н. Коваленко, А. А. Филиппова. – М. : Высшая школа, 1982. – 256 с.

57. Ткаченко О. М. Створення векторних кодових книг для ущільнення мови / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації : збірник тез доповідей II МНТК. – Вінниця, 2009. – С. 146–147.

58. Гурский Е. И. Теория вероятностей с элементами математической статистики : учебное пособие для вузов / Е. И. Гурский. – М. : Высшая школа, 1971. – 328 с.

59. Хинчин А. Я. Избранные труды по теории вероятностей / А. Я. Хинчин. – М. : ТВП, 1995. – 556 с.

60. Ткаченко О. М. Використання методу дельта-ущільнення для вокодера MELP / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації : збірник тез доповідей II МНТК. – Вінниця, 2009. – С. 148–149.

61. Пат. 32410 Україна, МПК (2006) G10L 21/00 G10L 19/00. Спосіб ущільнення мовних сигналів / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак ; заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. — № 200800956 ; заявл. 28.01.08 ; опубл. 12.05.08, Бюл. № 9.

62. Пат. 38505 Україна, МПК (2009) G10L 21/00 G10L 19/00. Спосіб дельта-ущільнення мовних сигналів / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак ; заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. — № 200810041 ; заявл. 04.08.08 ; опубл. 12.01.09, Бюл. №1.

63. Соколов Н. А. Качество обслуживания трафика речи в сети NGN / Н. А. Соколов // Мир связи. – 2006. – № 7. – С. 21–27.

64. Lane J. Best-effort network layer packet reordering in support of multipath overlay packet dispersion / J. Lane, A. Nakao // Global telecommunications: proc. – New Orleans, 2008. – P. 2457–2462.

65. Контроль показателей качества обслуживания с учетом перехода к сети связи следующего поколения / Б. С. Гольдштейн, М. А. Маршак, Е. Д. Мишин, Н. А. Соколов // Техника Связи. – 2009. – № 1. – С. 14–21.

66. Хинчин А. Я. Математические методы теории массового обслуживания / А. Я. Хинчин // Труды Математического института им. В. А. Стеклова. – 1955. – Т. 49. – 122 с.

67. Ramirez J. Voice Activity Detection. Fundamentals and Speech Recognition System Robustness / J. Ramirez, J. M. Gorriz, J. C. Segura // Robust Speech Recognition and Understanding. – 2007. – P. 1–23.

68. Benyassine A. A silence compression scheme for use with G.729 optimized for V.70 digital simultaneous voice and data application: ITU-T recommendation G.729 annex B / A. Benyassine, E. Shlomot, and H.-Y. Su. // IEEE Communications Magazine. – 2006. – V. 35. – P. 64–73.

69. Хрущак С. В. Визначення голосової активності з використанням адаптивного порогу // Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації : збірник тез доповідей III МНТК. – Вінниця, 2011. – С. 178–179.

70. Özer H. A geometric algorithm for voice activity detection in nonstationary Gaussian noise / H. Özer and S. G. Tanyer // IEEE Transactions on Speech and Audio Processing. – 2000. – V. 8. – P. 478–482.

71. C. Intensity Fluctuations in Telephone Traffic / C. Palm // Ericsson Tech. – 1943. – V. 1, № 44. – P. 56–64.

72. Перцева Л. В. Качество передачи речи при использовании низкоскоростных кодеков на абонентских линиях / Л. В. Перцева // Электросвязь. – 1987. – № 8. – С. 48–64.

73. А. с. 12396. Комп'ютерна програма аналізу алгоритмів ущільнення мови / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак. – № 14842 ; заявл. 10.01.05 ; опубл. 03.03.2005. – 5 с.

74. А. с. 24757. Комп'ютерна програма структуризації векторних кодових книг для застосування в системах цифрового зв'язку / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак. – № 25094 ; заявл. 18.03.08 ; опубл. 17.06.2008. – 5 с.

75. А. с. 26051. Комп'ютерна ущільнення мовних сигналів із застосуванням структурованих кодових книг / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак. – № 26051 ; заявл. 02.07.08 ; опубл. 13.10.2008. – 5 с.

76. Ткаченко О. М. Метод дельта-ущільнення мовних сигналів / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2008. – № 1(11). – С. 8–13.

77. Ткаченко О. М. Дельта-ущільнення мовленнєвих сигналів із застосуванням методу визначення голосової активності / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // Укробраз-2010 : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – К., 2010. – С. 193–198.

78. ГОСТ Р 50840-95. Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости. Введ. 97-01-01. – М : Издательство стандартов, 1995. – 234 с.

79. ГОСТ 16600-72. Передача речи по трактам радиотелефонной связи. Требования к разборчивости речи и методы артикуляционных измерений. Введ. 74.19.01. – М : Издательство стандартов, 2007. – 76 с.